

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
動物衛生研究所 ウイルス・疫学研究領域
早山陽子

家畜の感染症を防ぐには？－Rを用いた口蹄疫の伝播シミュレーションモデルの紹介－

キーワード：

感染症の伝播シミュレーションモデル、口蹄疫、対策の評価、リスクマップ

はじめに

感染症の伝播モデルは、感染の広がりを数理モデルなどでモデル化し、コンピューター上でシミュレーションすることによって、疾病の流行の解析や様々な対策の効果を比較分析することを目的としている。人の感染症分野では、古くは天然痘やマラリアの感染症数理モデルを用いた研究から始まり、現在では、インフルエンザやエボラ出血熱など様々な疾病で応用されている。

動物の分野では、近年、鳥インフルエンザやBSE（牛海綿状脳症）などの疾病が相次いで発生し、動物の感染症対策への社会的な関心が高まっており、伝播モデルを用いた対策の評価などが行われるようになった。特に、伝播モデルの研究が注目を浴びる契機となったのが、2001年に英国で発生した口蹄疫^{こうていえき}*の大流行であった。この流行では650万頭という家畜が処分されたことに伴い、畜産農家のみならず、一般国民からの懸念も呼び起こす事態となり、口蹄疫発生時の適切な対策の選択が求められるようになった。そこで、発生に備えた疾病対策の立案や、発生時における流行予測・対策の評価のために、口蹄疫の伝播モデルを用いた研究が盛んに行われるようになった。

日本では、2010年に宮崎県において大規模な口蹄疫の流行があり、約29万頭の家畜が処分された。この流行は、これまで日本では経験したことがないほどの大規模なものであり、地域の畜産業に大きな被害を与えた。本講演では、まず、2010年に発生した口蹄疫について、伝播シミュレーションモデルを構築し、対策の評価を行った研究事例と、本伝播モデルを応用した口蹄疫の感染拡大リスクマップについて紹介する。次に、本伝播モデルをベースに、国や都道府県の担当者向けに現在開発中の口蹄疫の伝播シミュレーターについて紹介する。

* 牛や豚など偶蹄類動物のウイルス性の急性伝染病。口や蹄の水疱の形成を特徴とする。伝播力が非常に強く、発生時の経済的影響が大きいことから、国際的に重要な家畜の伝染病として位置づけられており、国内では家畜伝染病予防法の法定伝染病に定められている。発生時の対策の基本方針は、感染家畜の処分と家畜等の移動制限である。

2010年に発生した口蹄疫の伝播モデル

2010年に発生した口蹄疫の伝播モデルは、農場間の感染の広がりを再現する確率論的なシミュレーションモデルである。まず、農場間の伝播率は、農場間の距離と動物種（牛又は豚）、飼養頭数によって変化すると仮定し、実際の流行データを用いて農場間の伝播率を最尤推定法で推定した。推定した農場間伝播率を組み込んで構築した伝播モデルは、当時の流行を概ね再現することができた。また、この伝播モデルに様々な対策のシナリオを設定して、対策の効果を評価したところ（図1）、感染農場における感染家畜の早期殺処分と初発農場の早期摘発は、流行を小規模に終わらせるための有効な措置だった。また、追加的な対策として、感染農場周辺の予防的殺処分やワクチン接種は、感染戸数を大幅に減少させる効果があったものの、これらの措置は、1日当たりの対応戸数の増加やワクチン接種に伴う処分対象戸数の増加など実施する上で解決が必要な課題を有していた。

口蹄疫の感染拡大リスク評価マップ

2010年に発生した口蹄疫の流行データから推定した農場間伝播率を用いて国内各地における口蹄疫の感染拡大リスクの評価を行い、口蹄疫の感染拡大リスク評価マップを作成した。まず、口蹄疫の感染拡大リスクの指標として、1戸の感染農場が感染期間中に何戸の農場を感染させるかを示す「農場感染力」を定義した。次に、全国の農場データ（牛83,324戸、豚6,502戸）を用いて、各農場の農場感染力を推定し、口蹄疫の感染拡大リスクとして地図に描写した（図2）。その結果、牛と豚の畜産が盛んな南九州や関東の一部に感染リスクが高い地域があることがわかった。

口蹄疫伝播シミュレーターの開発

口蹄疫の伝播シミュレーターは国や都道府県の担当者向けに現在開発を進めており、地域の農場データを用いることによって、地域内における口蹄疫の感染拡大のシミュレーションを行うことが可能である。この伝播シミュレーターは、地域における流行規模や、疾病発生時に要する人員、被害額等の推定を行うことによって、疾病対策の立案や意思決定などへの活用することを目指している。

伝播シミュレーターのベースは、上述した2010年の口蹄疫流行事例の伝播モデルであり、この他、海外の口蹄疫流行事例から推定した農場間伝播率を用いることもできる。さらに、地域内における人や車両の移動に伴う伝播のメカニズムも追加した。モデルのアウトプットは、口蹄疫の対策に役立つため、感染拡大をグラフと地図で把握できることに加え、口蹄疫発生に伴う被害額や必要人員数の推定値をグラフで表示する。

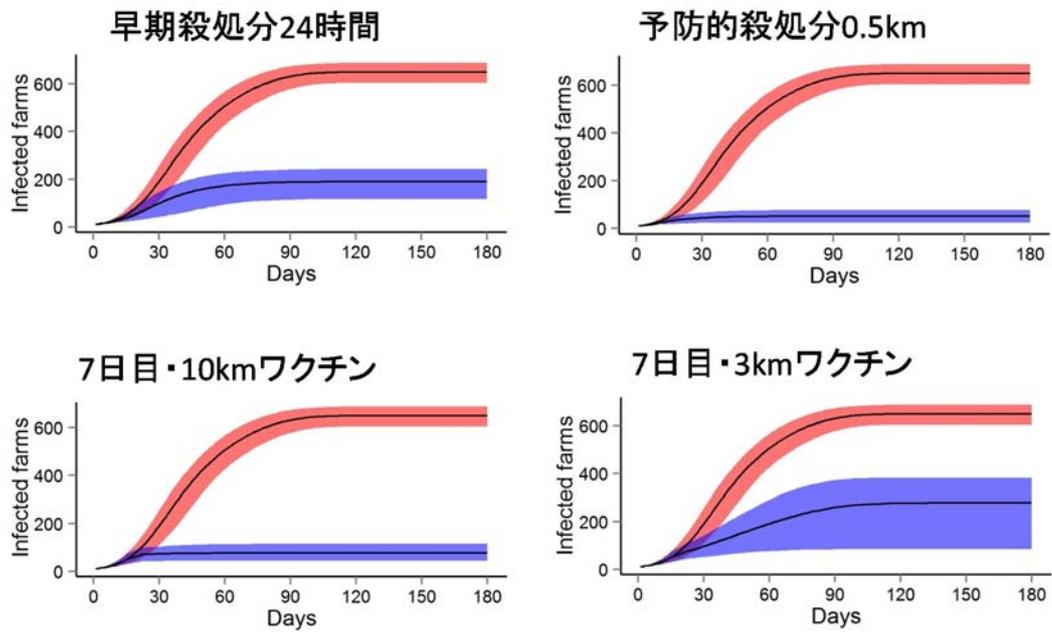
おわりに

本講演で紹介した口蹄疫の伝播モデルの構築及びこれに伴う統計解析には R 言語を用いた。R 言語は高度な統計機能やグラフィック機能を有していることや、プログラムを柔軟に変更できることから、今回の伝播モデルの開発には適していた。また、オープンソース型の言語であることも一つの魅力であった。

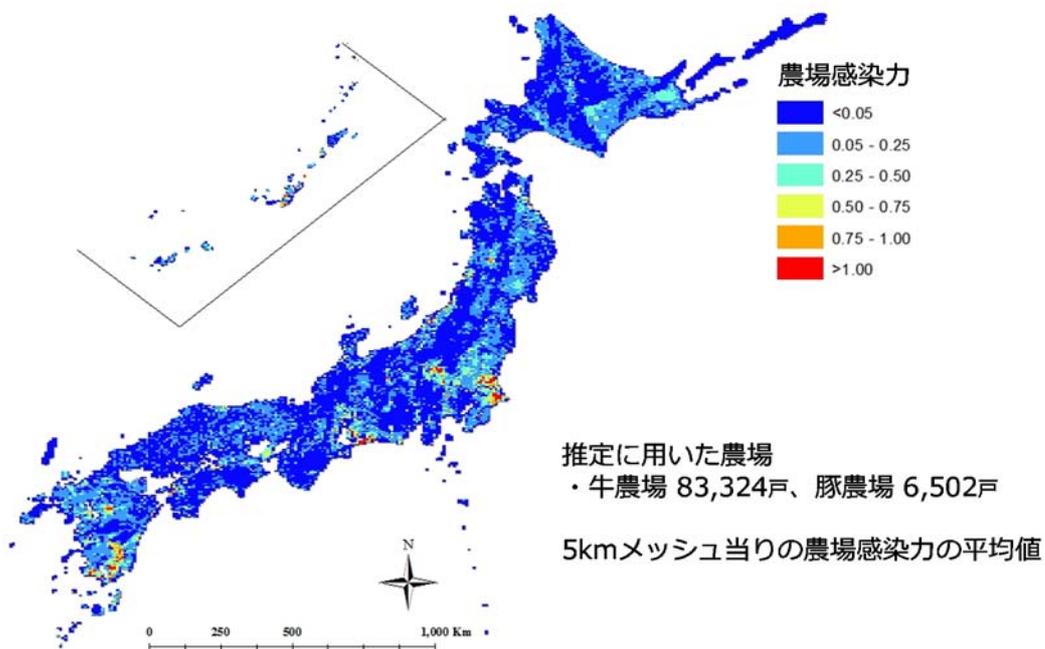
家畜の感染症は獣医・畜産分野だけの問題ではなく、人の健康や食の安全にも関わるテーマでもあり、獣医・畜産学分野における感染症のモデリングは海外でもその応用が広まりつつある。特に、欧米では、獣医・畜産学分野の研究者だけでなく、統計学者や数学者、プログラマーなど多様な分野の研究者が感染症のモデリング研究に参加している。今回の口蹄疫の伝播モデルは、NTT データ数理システム社の協力を得て開発を行ってきたものであり、今後も様々な分野で活用されている知識や技術を感染症モデリングに応用できれば、さらに発展が期待できるものと考えている。

参考文献

- Hayama, Y., Yamamoto, T., Kobayashi, S., Muroga, N., Tsutsui, T.: Mathematical model of the 2010 foot-and-mouth disease epidemic in Japan and evaluation of control measures. *Prev Vet Med.* 2013, 112(3-4), 183-93.
- Hayama, Y., Yamamoto, T., Kobayashi, S., Muroga, N., Tsutsui, T.: Evaluation of the transmission risk of foot-and-mouth disease in Japan. *J Vet Med Sci.* 2015, 77(9), 1167-70.
- 早山, 「2010年にわが国で発生した口蹄疫の疫学解析」, 獣医疫学雑誌, 2013, 17 (2), 106-111



【図1】 ベースライン（赤）と対策シナリオ（青）の感染戸数の比較



【図2】 口蹄疫の感染拡大リスク評価マップ

移動制限前の伝播率



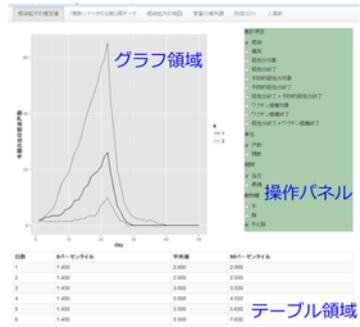
移動制限後の伝播率



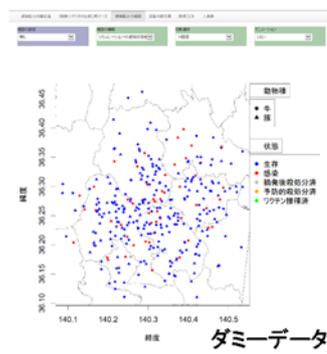
防疫措置



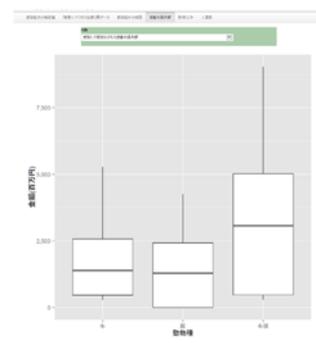
感染拡大の推移



感染拡大の地図



経済的影響



【図3】伝播シミュレーターの入力画面（上）と出力画面（下）